

E P

P C T

U S

国際調査報告

(法8条、法施行規則第40、41条)  
[PCT18条、PCT規則43、44]

出願人又は代理人 の書類記号 516215W001	今後の手続きについては、国際調査報告の送付通知様式(PCT/ISA/220)及び下記5を参照すること。	
国際出願番号 PCT/J P 99/06244	国際出願日 (日.月.年) 10. 11. 99	優先日 (日.月.年) 12. 04. 99
出願人 (氏名又は名称) 三菱電機株式会社		

国際調査機関が作成したこの国際調査報告を法施行規則第41条(PCT18条)の規定に従い出願人に送付する。  
この写しは国際事務局にも送付される。

この国際調査報告は、全部で 3 ページである。

☐ この調査報告に引用された先行技術文献の写しも添付されている。

1. 国際調査報告の基礎

a. 言語は、下記に示す場合を除くほか、この国際出願がされたものに基づき国際調査を行った。

☐ この国際調査機関に提出された国際出願の翻訳文に基づき国際調査を行った。

b. この国際出願は、ヌクレオチド又はアミノ酸配列を含んでおり、次の配列表に基づき国際調査を行った。

☐ この国際出願に含まれる書面による配列表

☐ この国際出願と共に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出された書面による配列表

☐ 出願後に、この国際調査機関に提出されたフレキシブルディスクによる配列表

☐ 出願後に提出した書面による配列表が出願時における国際出願の開示の範囲を超える事項を含まない旨の陳述書の提出があった。

☐ 書面による配列表に記載した配列とフレキシブルディスクによる配列表に記載した配列が同一である旨の陳述書の提出があった。

2. ☐ 請求の範囲の一部の調査ができない(第I欄参照)。

3. ☐ 発明の単一性が欠如している(第II欄参照)。

4. 発明の名称は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 次に示すように国際調査機関が作成した。

5. 要約は ☒ 出願人が提出したものを承認する。

☐ 第III欄に示されているように、法施行規則第47条(PCT規則38.2(b))の規定により国際調査機関が作成した。出願人は、この国際調査報告の発送の日から1カ月以内にこの国際調査機関に意見を提出することができる。

6. 要約書とともに公表される図は、

第 1 図とする。 ☒ 出願人が示したとおりである。

☐ なし

☐ 出願人は図を示さなかった。

☐ 本図は発明の特徴を一層よく表している。

**This Page Blank (uspto)**

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl <sup>7</sup> G02F 1/39, H04L9/38, H04L9/08, H04B10/00		
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int. Cl <sup>7</sup> G02F 1/39, H04L9/38, H04L9/08, H04B10/00		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2000年 日本国登録実用新案公報 1994-2000年 日本国実用新案登録公報 1996-2000年		
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JICST WPI USPTO Web Patent Database		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US, 5675648, A (British Telecommunications public limited company) 7. 10月. 1997 (07. 10. 97), 第5欄第20-30行, 第5図 & JP, 8-505019, A, 第11頁, 第5図 & WO, 9415422, A & AU, 9457099, A & EP, 676110, A & DE, 69309496, E & ES, 2101495, T3 & DE, 69408152, E & CA, 2152628, C	1-14
Y	Appl. Phys. Lett., Vol. 74, No. 7 (15 FEBRUARY 1999), Junsang Kim, S. Takeuchi, Y. Yamamoto, Henry H. Hogue, "Multiphoton detection using visible light photon counter", p. 902-904	1-14
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー 「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願日の後に公表された文献 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 09. 02. 00	国際調査報告の発送日 29.02.00	
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 佐藤 宙子 電話番号 03-3581-1101 内線 3293	

**This Page Blank (uspto)**

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	日本物理学会講演概要集, 第53巻, 第2号, 第2分冊, 27a-YQ-9, 竹内繁樹, 山本喜久, "高量子効率光子検出器", p. 341	1-14
Y	日本物理学会講演概要集, 第53巻, 第1号, 第2分冊, 2p-YL-7, 竹内繁樹, "パラメトリック蛍光光子対ビームの発生", p. 292	3-4
Y	Appl. Opt., Vol. 33, No. 10 (1 April 1994), P. G. Kwiat, A. M. Steinberg, R. Y. Chiao, P. H. Eberhard, M. D. Petroff, "Absolute efficiency and time-response measurement of single-photon detectors", p. 1844-1853	1-14
Y	JP, 08-190112, A (日本電信電話株式会社), 23. 7月. 1996 (23. 07. 96) 全文, 第1-11図 (ファミリーなし)	1-14
Y	日本物理学会講演概要集, 第53巻, 第2号, 第2分冊, 27a-YQ-10, 佐中薫, 上妻幹男, 久我隆弘, "光導波路型非線形素子による二光子相関現象 I", p. 341	5

**This Page Blank (uspto)**

## PATENT COOPERATION TREATY

PCT

NOTIFICATION CONCERNING  
SUBMISSION OR TRANSMITTAL  
OF PRIORITY DOCUMENT

(PCT Administrative Instructions, Section 411)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

ASAHINA, Sohta  
NS Building  
2-22, Tanimachi 2-chome  
Chuo-ku, Osaka-shi  
Osaka 540-0012  
JAPON

Date of mailing (day/month/year) 17 February 2000 (17.02.00)	<b>IMPORTANT NOTIFICATION</b>
Applicant's or agent's file reference 516215WO01	
International application No. PCT/JP99/06244	
International publication date (day/month/year) Not yet published	
Applicant MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA et al	International filing date (day/month/year) 10 November 1999 (10.11.99)  Priority date (day/month/year) 12 April 1999 (12.04.99)

- The applicant is hereby notified of the date of receipt (except where the letters "NR" appear in the right-hand column) by the International Bureau of the priority document(s) relating to the earlier application(s) indicated below. Unless otherwise indicated by an asterisk appearing next to a date of receipt, or by the letters "NR", in the right-hand column, the priority document concerned was submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b).
- This updates and replaces any previously issued notification concerning submission or transmittal of priority documents.
- An asterisk(\*) appearing next to a date of receipt, in the right-hand column, denotes a priority document submitted or transmitted to the International Bureau but not in compliance with Rule 17.1(a) or (b). In such a case, the attention of the applicant is directed to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.
- The letters "NR" appearing in the right-hand column denote a priority document which was not received by the International Bureau or which the applicant did not request the receiving Office to prepare and transmit to the International Bureau, as provided by Rule 17.1(a) or (b), respectively. In such a case, the attention of the applicant is directed to Rule 17.1(c) which provides that no designated Office may disregard the priority claim concerned before giving the applicant an opportunity, upon entry into the national phase, to furnish the priority document within a time limit which is reasonable under the circumstances.

<u>Priority date</u>	<u>Priority application No.</u>	<u>Country or regional Office or PCT receiving Office</u>	<u>Date of receipt of priority document</u>
12 April 1999 (12.04.99)	11/104600	JP	06 Janu 2000 (06.01.00)

**CORRECTED  
VERSION**

The International Bureau of WIPO  
34, chemin des Colombettes  
1211 Geneva 20, Switzerland

Facsimile No. (41-22) 740.14.35

Authorized officer

*Masashi HONDA*  
Masashi HONDA

Telephone No. (41-22) 338.83.38

**This Page Blank (uspto)**



## PCT

### NOTICE INFORMING THE APPLICANT OF THE COMMUNICATION OF THE INTERNATIONAL APPLICATION TO THE DESIGNATED OFFICES

(PCT Rule 47.1(c), first sentence)

From the INTERNATIONAL BUREAU

To:

ASAHINA, Sohta  
NS Building  
2-22, Tanimachi 2-chome  
Chuo-ku, Osaka-shi  
Osaka 540-0012  
JAPON

Date of mailing (day/month/year) 19 October 2000 (19.10.00)		<b>IMPORTANT NOTICE</b>	
Applicant's or agent's file reference 516215WO01			
International application No. PCT/JP99/06244	International filing date (day/month/year) 10 November 1999 (10.11.99)	Priority date (day/month/year) 12 April 1999 (12.04.99)	
Applicant MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA et al			

1. Notice is hereby given that the International Bureau has communicated, as provided in Article 20, the international application to the following designated Offices on the date indicated above as the date of mailing of this Notice:  
**AU, KR, US**

In accordance with Rule 47.1(c), third sentence, those Offices will accept the present Notice as conclusive evidence that the communication of the international application has duly taken place on the date of mailing indicated above and no copy of the international application is required to be furnished by the applicant to the designated Office(s).

2. The following designated Offices have waived the requirement for such a communication at this time:  
**CA, CN, EP, NO, SG**

The communication will be made to those Offices only upon their request. Furthermore, those Offices do not require the applicant to furnish a copy of the international application (Rule 49.1(a-bis)).

3. Enclosed with this Notice is a copy of the international application as published by the International Bureau on 19 October 2000 (19.10.00) under No. WO 00/62122

#### REMINDER REGARDING CHAPTER II (Article 31(2)(a) and Rule 54.2)

If the applicant wishes to postpone entry into the national phase until 30 months (or later in some Offices) from the priority date, a demand for international preliminary examination must be filed with the competent International Preliminary Examining Authority before the expiration of 19 months from the priority date.

It is the applicant's sole responsibility to monitor the 19-month time limit.

Note that only an applicant who is a national or resident of a PCT Contracting State which is bound by Chapter II has the right to file a demand for international preliminary examination.

#### REMINDER REGARDING ENTRY INTO THE NATIONAL PHASE (Article 22 or 39(1))

If the applicant wishes to proceed with the international application in the national phase, he must, within 20 months or 30 months, or later in some Offices, perform the acts referred to therein before each designated or elected Office.

For further important information on the time limits and acts to be performed for entering the national phase, see the Annex to Form PCT/IB/301 (Notification of Receipt of Record Copy) and Volume II of the PCT Applicant's Guide.

<p style="text-align: center;">The International Bureau of WIPO 34, chemin des Colombettes 1211 Geneva 20, Switzerland</p> <p>Facsimile No. (41-22) 740.14.35</p>	<p>Authorized officer  <b>J. Zahra</b></p> <p>Telephone No. (41-22) 338.83.38</p>
---	---

**This Page Blank (uspto)**

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/06244

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G02F 1/39, H04L9/38, H04L9/08, H04B10/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G02F 1/39, H04L9/38, H04L9/08, H04B10/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2000
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2000	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST

WPI

USPTO Web Patent Database

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US, 5675648, A (British Telecommunications public limited company), 07 October, 1997 (07.10.97), Column 5, lines 20 to 30; Fig. 5 & JP, 8-505019, A page 11; Fig. 5 & WO, 9415422, A & AU, 9457099, A & EP, 676110, A & DE, 69309496, E & ES, 2101495, T3 & DE, 69408152, E & CA, 2152628, C	1-14
Y	Appl.Phys.Lett., Vol.74, No.7 (15 February, 1999), Junsang.Kim, S.Takeuchi, Y.Yamamoto, Henry H.Hogue, "Multiphoton detection using visible light photon counter", pp.902-904	1-14
Y	Abstracts, Meeting of Nippon Butsuri Gakkai, Vol.53, No.2-2, 27a-YQ-9, Shigeki Takeuchi et al., "Kou Ryoshi Kouritsu Koshi Kenshutsuki", p.341	1-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  
09 February, 2000 (09.02.00)Date of mailing of the international search report  
29 February, 2000 (29.02.00)Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

This Page Blank (uspto)

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/06244

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Abstracts, Meeting of Nippon Butsuri Gakkai, Vol. 53, No.1-2, 2p-YL-7, Shigeki Takeuchi, "Parametric Keiko Koshi Tai Beam no Hassei", p.292	3-4
Y	Appl.Opt., Vol.33, No.10 (1 April 1994), P.G.Kwiat, A.M.Steinberg, R.Y.Chiano, P.H.Eberhard, M.D.Petroff, "Absolute efficiency and time-response measurement of single-photon detectors", pp.1844-1853	1-14
Y	JP, 08-190112, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 23 July, 1996 (23.07.96), Full text; Figs. 1 to 11 (Family: none)	1-14
Y	Abstracts Meeting of Nippon Butsuri Gakkai, Vol. 53, No.2-2, 27a-YQ-10, Kaoru Sanaka et al., "Hikari Doharo gata Hi Senkei Soshi ni yoru 2 Koshi Sokan Gensho I", p.341	5

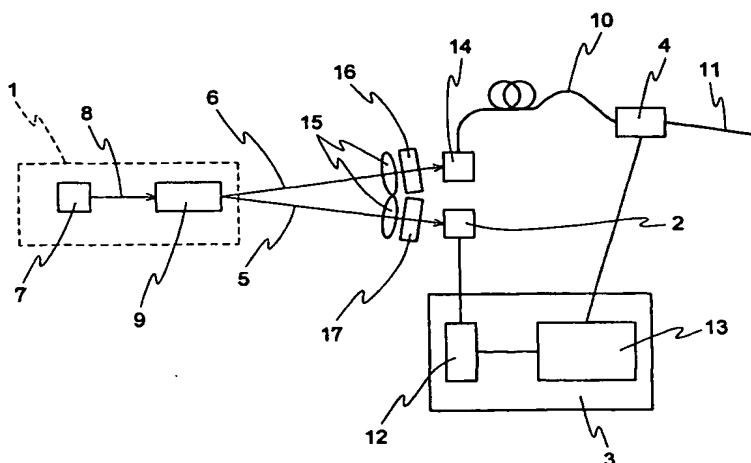
**This Page Blank (uspto)**

特許協力条約に基づいて公開された国際出願

<p>(51) 国際特許分類7 G02F 1/39, H04L 9/38, 9/08, H04B 10/00</p>	<p>A1</p>	<p>(11) 国際公開番号 WO00/62122</p> <p>(43) 国際公開日 2000年10月19日(19.10.00)</p>
<p>(21) 国際出願番号 ✓PCT/JP99/06244</p> <p>(22) 国際出願日 ✓1999年11月10日(10.11.99)</p> <p>(30) 優先権データ 特願平11/104600 12-Dec-00/20m JP 1999年4月12日(12.04.99)</p> <p>(71) 出願人 (米国を除くすべての指定国について) 三菱電機株式会社 (MITSUBISHI DENKI KABUSHIKI KAISHA)[JP/JP] 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 Tokyo, (JP)</p> <p>(72) 発明者 ; および</p> <p>(75) 発明者 / 出願人 (米国についてのみ) 竹内繁樹(TAKEUCHI, Shigeki)[JP/JP] 〒100-8310 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内 Tokyo, (JP)</p> <p>(74) 代理人 朝日奈宗太, 外(ASAHINA, Sohta et al.) 〒540-0012 大阪府大阪市中央区谷町二丁目2番22号 NSビル Osaka, (JP)</p>		<p>(81) 指定国 AU, CA, CN, KR, NO, SG, US, 欧州特許 (BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, IT, NL, SE)</p> <p>添付公開書類 国際調査報告書</p>

(54)Title: GENERATOR FOR PRODUCING PHOTON NUMBER STATE

(54)発明の名称 光子数状態発生装置



**(57) Abstract**

An apparatus is provided for generating a predetermined number of photons, particularly one photon, at a definite time and at scheduled times for quantum communications. The apparatus comprises a source for generating a pair of photons including a signal photon and an idler photon that are mutually correlated in time of generation; a detector for measuring the number of idler photons; a control device for controlling a gate device according to the number of photons measured by the detector; and a gate device for controlling the emission of signal photons.

発生時刻が既知である一定数の光子を発生する装置、更には既知のスケジュールで一定数の光子を発生する装置を提供する。特に重要な前記一定数は1であり、量子暗号通信などに利用できる。

シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、アイドラー光子の光子数を検出する光子数検出器、光子数検出器からの光子数の情報に応じてゲート装置をコントロールするコントロール装置、および、シグナル光子の射出を制御するゲート装置を備えた。

PCTに基づいて公開される国際出願のパンフレット第一頁に掲載されたPCT加盟国を同定するために使用されるコード(参考情報)

AE	アラブ首長国連邦	DM	ドミニカ	KZ	カザフスタン	RU	ロシア
AG	アンティグア・バーブーダ	DZ	アルジェリア	LC	セントルシア	SD	スーダン
AL	アルバニア	EE	エストニア	LI	リヒテンシュタイン	SE	スウェーデン
AM	アルメニア	ES	スペイン	LK	スリ・ランカ	SG	シンガポール
AT	オーストリア	FI	フィンランド	LR	リベリア	SI	スロヴェニア
AU	オーストラリア	FR	フランス	LS	レソト	SK	スロヴァキア
AZ	アゼルバイジャン	GA	ガボン	LT	リトアニア	SL	シエラ・レオネ
BA	ボスニア・ヘルツェゴビナ	GB	英国	LU	ルクセンブルグ	SN	セネガル
BB	バルバドス	GD	グレナダ	LV	ラトヴィア	SZ	スワジランド
BE	ベルギー	GE	グルジア	MA	モロッコ	TD	チャード
BF	ブルキナ・ファソ	GH	ガーナ	MC	モナコ	TG	トーゴ
BG	ブルガリア	GM	ガンビア	MD	モルドヴァ	TJ	タジキスタン
BJ	ベナン	GN	ギニア	MG	マダガスカル	TM	トルクメニスタン
BR	ブラジル	GR	ギリシャ	MK	マケドニア旧ユーゴスラヴィア	TR	トルコ
BY	ベラルーシ	GW	ギニア・ビサウ		共和国	TT	トリニダード・トバゴ
CA	カナダ	HR	クロアチア	ML	マリ	TZ	タンザニア
CF	中央アフリカ	HU	ハンガリー	MN	モンゴル	UA	ウクライナ
CG	コンゴ	ID	インドネシア	MR	モーリタニア	UG	ウガンダ
CH	スイス	IE	アイルランド	MW	マラウイ	US	米国
CI	コートジボアール	IL	イスラエル	MX	メキシコ	UZ	ウズベキスタン
CM	カメルーン	IN	インド	MZ	モザンビーク	VN	ヴェトナム
CN	中国	IS	アイスランド	NE	ニジェール	YU	ユーゴスラヴィア
CR	コスタ・リカ	IT	イタリア	NL	オランダ	ZA	南アフリカ共和国
CU	キューバ	JP	日本	NO	ノルウェー	ZW	ジンバブエ
CY	キプロス	KE	ケニア	NZ	ニュージーランド		
CZ	チェコ	KG	キルギスタン	PL	ポーランド		
DE	ドイツ	KP	北朝鮮	PT	ポルトガル		
DK	デンマーク	KR	韓国	RO	ルーマニア		



## 明 細 書

### 光子数状態発生装置

#### 技術分野

本発明は、発生時刻が既知である一定数の光子を発生する装置に関し、更には既知のスケジュールで一定数の光子を発生する装置に関する。特に重要な前記一定数は1であり、量子暗号通信などに利用できる。

#### 背景技術

量子暗号通信システムでは、光子一つづつに情報を載せることで、量子力学的な原理により盗聴者の発見を可能にする。しかし、もし同じ情報を2つ以上の光子に載せてしまえば、盗聴者によってそれらの光子の一部を利用され、盗聴者の存在を検出できない可能性がある。このように、理想的には最大でも1つの光子しか含まないパルスを利用する必要がある。このようなパルスとしては、1パルスあたりの光子の平均数 $\mu$ を約0.1になるように、レーザー光源からの光を減衰器によって減衰することが一般に行われている。このようにすることで、2つ以上の光子がパルス中に含まれる確率を $1/100$ に減少できるが、しかしパルス中に1つの光子が含まれている確率も0.1程度に減少することになる。つまり、 $\mu = 0.1$ の場合、10回に1度程度しか、実際に伝送が行われないことになる。

このような方法を改善する従来技術の一例として、特表平8-505019号公報の、「量子暗号を使用したキー

分配システム及び方法」に記載されているものについて、該発明の実施の形態中での図5に相当する、図11を用いて説明する。図11において、7は非線型光学媒質9をポンプするためのポンプ光8を発生するレーザーである。非線型光学結晶9では、ポンプ光の光子一つが確率的に2つの光子を発生するパラメトリック蛍光対が発生する。そのうちの一つの光子（ここでは、アイドラー光子5と呼ぶ）は、光検出器およびゲートコントロール装置38により検出され、検出した場合はもう一方の光子（シグナル光子6と呼ぶ）が通過するようにゲート装置4を開く。これらの従来技術では、特表平8-505019号公報の、「量子暗号を使用したキー分配システム及び方法」の実施の形態にも記載されているように、光検出器として光電子増倍管や、能動的クエンチング制御で用いられる半導体アバランシェフォトダイオード（以下、AQ-APD）などが用いられていた。

しかし、従来の技術に用いられていた検出器を光子検出器としてそのまま用いていた場合には、検出器の反応時間内に複数入射した場合に、複数入射したことを検出することができなかった。たとえば、AQ-APDにおいては、光子がいくつ入射したかによらずパルスの大きさが一定になってしまうため、光子が入射したことは検出ができて、入射した光子の数に関する情報を得ることができなかった。また、光電子増倍管を用いる場合は、その量子効率 $\eta$ が最大でも約20%と低く、2光子検出の効率は $\eta$ の2乗となるため極めて低く（4%）、2光子以上の入射を検出することはできなかった。

従来技術においては、これらの検出器の使用を前提と

していたため、入射光子数の判定を行うような手段がなかった。

このため、パラメトリック蛍光から検出器の反応時間内程度に連続して複数の光子が発生した場合にも、ゲートを開いてしまい、2光子の状態が射出されてしまうという問題があった。

しかし、一方では、2光子が検出器の反応時間内程度に連続して存在するような「2光子状態」の生成などは不可能であった。

以上述べたように、従来の技術においては、検出器が入射光子数を検出することができずまたその入射した光子数を判定するような手段を持たなかったため、光子対が光子検出器の反応時間内に連続して発生していたような場合にもゲートを開いてしまい、検出器の反応時間内に2つまたはそれ以上の光子が含まれるような状態が射出されてしまうという欠点があった。

また、従来の方法においては、一つのパルス内部において複数の光子を正確に発生させることができなかった。

またパルス内部での光子発生のタイミングを制御することはできなかった。

この発明は、このような問題点を解消するためになされたもので、検出器の反応時間内に相関のない2つまたはそれ以上の光子が含まれることを抑制し、また、一つのパルス内部において相関を有する複数の光子を正確に発生させ、また、パルス内部での光子発生のタイミングを制御することが可能な装置を実現することを目的とする。

### 発明の開示

この発明に係る光子数状態発生装置は、シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源と、アイドラー光子の光子数を検出する光子数検出器と、光子数検出器からの光子数の情報に応じてゲート装置をコントロールするコントロール装置と、シグナル光子の射出を制御するゲート装置とを設けたものである。

また、光子対を発生する光子対源として、ポンプ光光源と、ポンプ光光源からのポンプ光が入射する非線型光学媒質を設けたものである。

また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の単一波長  $a$  に対応する直線に接するような角度に設定された非線型光学結晶を設けたものである。

また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の2つの波長  $a$ 、 $b$  に対応する直線に接するような角度に設定された非線型光学結晶を備えたものである。

また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、導波路型の非線型光学媒質を備えたものである。

また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、擬似位相整合型非線型光学媒質を備えたものである。

また、光子数検出器からの光子数の情報が一定の範囲のものを分別する分別部を備えたものである。

また、入射光子数に応じて出力パルスの高さの変化す

る信号を出力する光子数検出器を備え、コントロール装置に、光子数検出器からの出力パルスの高さがある一定範囲のものを分別する波高分別部を備えたものである。

また、光子数検出器からの光子数の情報が、光子数検出器に入射した光子数が1つである場合を分別する分別部を備えたものである。

また、光子数検出器からの出力パルスの高さが、光子数検出器に入射した光子数が1つである場合の高さに相当するものを分別する波高分別部を備えたものである。

また、コントロール装置にクロック発生部および、そのクロックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみゲート装置を開閉する開閉回数判定部を備えたものである。

また、コントロール装置にクロック発生部および、そのクロックによって規定される一定時間内に、最初の光子数検出器からの信号に対してのみゲート装置を開閉する開閉回数判定部を備えたものである。

また、シグナル光子の射出を制御するゲート装置に、開閉時間より短い時間差で開閉する複数のシャッターを備えたものである。

また、光子対から発生したシグナル光子を、その光子の射出を制御するゲート装置に到達させる光ファイバーを備えたものである。

この発明においては、光子源において発生した、発生時刻に相関をもつシグナル光子とアイドラー光子からなる光子対の内、光子数検出器によってアイドラー光子の光子数を検出し、光子数検出器からの光子数の情報に応じてゲート装置をコントロールすることによって、シグ

ナル光子に含まれる光子数を制御するものである。

また、ポンプ光光源からのポンプ光を入射させ、非線型光学媒質によって発生する発生時刻に相関をもつ光子対をアイドラ光子とシグナル光子として用いる。

また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質の設置に当たり、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度を、そのチューニングカーブがある特定の単一波長  $a$  に対応する直線に接するような角度に設定する。

また、ポンプ光が入射する非線型光学媒質の設置に当たり、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の2つの波長  $a$  ,  $b$  に対応する直線に接するような角度に設定する。

また、ポンプ光を導波路型の非線型光学媒質に入射する。

また、ポンプ光を擬似位相整合型非線型光学媒質に入射する。

また、光子数検出器からの光子数の情報が一定の範囲のものをコントロール装置の分別部で分別する。

また、入射光子数に応じて出力パルスの高さの変化する信号を出力する光子数検出器からの信号を、コントロール装置に備えた波高分別部によって、出力パルスの高さがある一定範囲のものを分別する。

また、光子数検出器からの光子数の情報が、光子数検出器に入射した光子数が1つである場合を分別する。

また、光子数検出器からの出力パルスの高さが、光子数検出器に入射した光子数が1つである場合の高さに相当するものを分別する。

また、コントロール装置のクロック発生部からのクロ

ックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみゲート装置を開閉する。

また、コントロール装置のクロック発生部からのクロックによって規定される一定時間内に、最初の光子数検出器からの信号に対してのみゲート装置を開閉する。

また、アイドラー光子の光子の入射を光子検出器によって検出し、クロック発生器からのクロックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみシグナル光子の射出を制御するゲート装置を開閉する。

また、シグナル光子の射出を、開閉時間より短い時間差で開閉する複数のシャッターによって制御する。

また、光子対から発生したシグナル光子を、光ファイバーを用いてその光子の射出を制御するゲート装置に到達させる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 はこの発明の一実施の形態の全体構成図、図 2 は非線型光学媒質で発生する光子の波長と放出角度の関係を示す図、図 3 はこの発明の一実施の形態で使用する光子数検出器の、入射光子と出力信号の関係を示す図、図 4 はこの発明の一実施の形態で使用する光子数検出器の、入射光子数と出力信号の高さの関係を示す図、図 5 はこの発明の一実施の形態の全体構成図、図 6 はこの発明の一実施の形態で使用する光子数検出器の構成図、図 7 はこの発明の一実施の形態で使用するゲート装置部の構成図、図 8 はこの発明の一実施の形態で使用するゲート装置部の動作を説明するための図、図 9 はこの発明の一実施の形態の全体構成図、図 10 はこの発明の一実施の形態

の動作を説明するための図、図11は従来の技術の一例の全体構成図である。

### 発明を実施するための最良の形態

#### 実施の形態 1

図1は、この発明の一実施の形態の全体構成図である。この実施の形態では、検出器の分解時間  $\tau$  以内に2光子が密集して存在しないような、単一光子状態を発生させる装置である。

#### (構成の説明)

図1において、1は発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源で、2はアイドラー光子5を検出する光子数検出器、3は光子数検出器からの光子数の情報に応じてゲート装置4をコントロールするコントロール装置である。ゲート装置4はシグナル光子6の射出を制御する。光子対源1は、非線型光学媒質9と、それをポンプするポンプ光8の光源7からなっている。非線型光学媒質9で発生したアイドラー光子5は、レンズ15によって、目的のアイドラー光子を選択的に透過させるフィルタ17を通しながら光子数検出器2に集光される。光子数検出器2からは、一度に入射する光子数に応じて波高の異なるパルスが出力される。そのパルスの波高が、入射光子数が1光子の時のみ、波高分別部12はゲート装置制御部13をトリガし、そのトリガによってゲート装置制御部13は、一定の時間ゲート装置4を開く。

一方、シグナル光子6は、レンズ15によって集光され、シグナル光の波長  $2\lambda$  の光子を選択的に透過するフィルタ16を通過しながら、光ファイバ10へと集光される。1



4は、光ファイバへ外部からの光を効率的に入射するための、微動装置である。光ファイバ10は、以上のような手順によりアイドラー光子5が検出器2に入射してから、ゲート装置4が制御されるまでに必要な時間の間、シグナル光子6がゲート装置4に到達するのを遅延させるために用いられる。

(光子対発生器の説明)

非線型光学媒質9では、ダウンコンバージョンによってポンプ光8の波長 $\lambda$ の2倍の波長 $2\lambda$ をもつアイドラー光子5とシグナル光子6が発生する。本実施の形態では、ポンプ光源7として351.1nmの波長をもつアルゴンレーザーを用いている。このとき、アイドラー光子5とシグナル光子6は、互いに発生する光子のエネルギーの和が、351.1nmの波長の光子のエネルギーに等しい対、つまりそれぞれ702.2nmの波長の光子としてそれぞれ発生する。

特願平9-353078の「光子ビーム発生装置」に詳しく記載されているように、非線型光学媒質の光学軸を、ポンプ光に対してある特定の角度に設定することにより、発生するアイドラー光子5とシグナル光子6を、ビーム状に、かつ、高効率で発生させることが可能である。図2に、 $\beta$ -Barium-Boron-Oxide (BBO) 結晶の光学軸が、ポンプ光に対して50.4度の角度に設定されている場合のチューニングカーブを示す。図2において、横軸は発生している光子の波長を、縦軸は、ポンプ光の入射方向に対する光子の出射方向を示している。図に見られるように2つのチューニングカーブが波長702.2nmに対応する直線に接している。この条件においては、それぞ

れ波長702.2nmの蛍光対がそれぞれプラス3度とマイナス3度の方向にビーム状に射出される。このような非線型光学媒質を用いることにより、ポンプ光の入射パワーに対して効率よく光子対を発生しており、結果として同等のレートで単一光子を発生する場合に、装置の消費電力を低く押さえることができる。

ここでは発生時刻に相関をもつ光子対の発生方法としてパラメトリック蛍光対を用いたが、もちろん他の方法によって発生することも可能である。たとえば、励起状態からのカスケード放出過程などを用いることができる。

(光子数検出器の説明)

この実施の形態では光子数検出器として、Boeing社の開発したVisual Light Photon Counter(以下V L P C)を用いている。このV L P Cは、Applied Physics Letters 1999年2月15日号に掲載の、Jungsang Kim, Shigeki Takeuchi, Yoshihisa Yamamoto, and Henry H. Hogueらによる「Multi-photon Counting using Visible Light Photon Counter」と題された論文に詳しく記述されているように、高い量子効率で、いくつの光子が入射したのかを検出可能である。

図3を用いて、この検出器に多数個の光子が入射した時の動作を説明する。図3において、横軸は時間を、縦軸はV L P Cからの出力パルスの高さ(波高)を示す。また、グラフは、上からそれぞれ、(a)1光子だけの入射、(b)2光子の同時入射、(c)2光子が3 nsの間隔で入射、(d)2光子が5 nsの間隔で入射した場合の出力パルスを示している。このように、2光子同時入射時には、パルス高さが1光子入射の約2倍になっている。

図 4 は、検出器に入射した光子数が 1 光子の場合と 2 光子の場合それぞれについて、パルス高さの分布を調べたものである。2 光子入射は、パラメトリック蛍光対を用いて行われたが、光学的な調整の問題があるため、発生したすべての光子対について光子対の光子両方を V L P C に入射できているわけではない。グラフにおいて、10mV 以下の部分は、ノイズであり、37mV を中心としたピークが 1 光子検出に、74mV を中心とするピークが 2 光子検出に相当する。ちなみに、V L P C は、その構造上、2 個以上の光子が入射した場合、その個数にほぼ比例した高さの検出パルスを出力する。

(コントロール装置の具体的構成と説明)

光学的な調整の問題等を補正した評価では、この検出器からの波高が 10mV から 56mV の範囲だけを「1 光子検出」と判断した場合、V L P C を用いた光子数検出器の 1 光子入射に対する量子効率 75% の場合、2 光子入射にも関わらず「1 光子」と判断してしまう確率は 35% 程度であった。波高分別部 12 では、波高分析器を用いて、このような波高の信号を光子数検出器から入射された場合のみに、ゲート装置制御部をトリガする。そのトリガに従い、ゲート装置を開閉する。ゲート装置の開いている時間は、検出器の分解時間程度が望ましく本実施の形態では 2 ns から 5 ns 程度であることが望ましい。

前記の 2 光子を 1 光子と誤判断する確率は、V L P C を用いた光子数検出器の量子効率をさらに高めることにより改善することができる。このような検出器では、Applied Physics Letters 1999 年 2 月 22 日号に掲載の、Shigeki Takeuchi, Jungsang Kim, Yoshihisa Yamamoto,

and Henry H. Hogueらによる「High quantum-efficiency single-photon counting system」に記載されている様に、90%近くまで量子効率を改善することが可能であり、その場合には2光子を1光子と誤判断する確率を18%以下に押さえることが可能である。

このような検出器を用いることにより、従来技術において、「パラメトリック蛍光から検出器の反応時間内程度で連続して複数の光子が発生し、ゲートを開いてしまい、2光子の状態が射出されてしまう」といった事象を5分の1以下に低減できた。また、従来技術においては2光子射出を避けるために1パルス当りの平均光子数を小さく（例えば0.1）していたため、通信に利用した場合もそれだけ伝送効率が低下していたが、本実施の形態によれば、1パルス当り平均1個の光子を射出することができ、伝送効率を高めることができる。

#### 実施の形態 2

実施の形態1においては、発生するシグナル光の波長は702.2nmであったが、もちろんこの波長は、適切なポンプ光源用レーザおよび非線型光学媒質を選択することにより任意に変えることができる。例えば、光ファイバーを用いた通信に一般に用いられている、1550nm付近、1310nm付近、また800nm付近の波長を発生させることももちろん可能である。

実施の形態1（図2）に示した光子対の発生方法は、波長が等しく角度の広がり小さい光子対ビームを得るのに適した方法であるが、別の目的に対しては、BBO結晶の光学軸方向を変えることにより、波長の異なる光子対を得ることもできる。この場合には、図2の2つの

チューニングカーブはそれぞれ異なる波長に対応する直線に接する。この場合にも、光子の取り出し方向は、図2に示したチューニングカーブがそれぞれの波長に対応する直線に接する角度で取り出す。この条件によれば、一般に円錐状に広がる光子が一本のビームにまとまり、分布密度の高い光子ビームが得られる。

本発明のこのようなその他の実施の形態としては、図1において、ポンプ光源7として半導体励起Yagレーザーのアップコンバージョンレーザーを用いて532nmのポンプ光8を発生させ、シグナル光子6として1310nmの光子を、アイドラー光子5として896nmの光子を発生させる装置がある。この時、特願平9-353078の「光子ビーム発生装置」に詳しく記載されている方法により、非線型光学媒質の光学軸のなす角度を、そのチューニングカーブがそれぞれ1310nmと896nmで接するような角度に設定し、光子対の発生効率を高めている。また、このようにアイドラー光子の波長を可視光の波長に近い近赤外域に設定することにより、光子数検出器2の量子効率が高い状態で光子数の検出が可能になっている。

このような構成により、光ファイバー中での伝送損失の小さい1310nm付近の光子を、検出器の分解時間 $\tau$ 以内に2光子が密集して存在しないようにして発生させることが可能になった。また、本実施の形態においては、結晶の角度を上記のように設定することにより効率よく光子対を発生させることが可能になり、また、アイドラー光子の光子数の高い検出効率を維持することが可能になっており、結果として装置の消費電力を減少することができた。

### 実施の形態 3

本発明のその他の実施の形態を図5に示す。この実施の形態において、7はポンプ光源、18はポンプ光を導波させる光ファイバ、19は導波路型非線型媒質、20は導波路型非線型光学媒質19から発生した蛍光対とポンプ光とを分別する導波路型フィルタ、21はポンプ光の射出口、22は蛍光対を2つの分岐に分別する導波路型フィルタである。

この実施の形態では、パラメトリック蛍光対は導波路型非線型光学媒質19において発生する。蛍光対は、それぞれ縦、横の偏光を持っており、偏光ビームスプリッターとして動作する導波路型フィルタ22において、そのうちの一方の偏光をもつものが光子数検出器2へ、もう一方が光ファイバ10へと伝達される。

このような構成により、装置を小型化することが可能になり、また、光学的アライメントが不要になった。

この実施の形態では、非線型光学媒質として、導波路型非線型光学媒質19を用いる。日本物理学会講演概要集第53巻第2号第2分冊341ページの佐中らによる「光導波路型非線型素子による2光子相関現象I」によって述べられているように、擬似位相整合型の導波路型非線型媒質では、使用するポンプ光と発生する光子が平行に発生するような条件を満たすような非線型性を、擬似位相整合により得ることが可能になる。

これにより、ポンプ光と発生光子の波長を任意に選択することが可能になった。

### 実施の形態 4

その他の実施の形態として、図3～4に示した実施の

形態 1 においての光子数検出器として、複数の光子検出器を組み合わせで構成した場合を図 6 に示す。図 6 において、23、24、25は50：50の分割比をもつ導波路型ビームスプリッタ、26から29は光子検出器である。光子検出器26から29としては、光子の入射は検出可能であるが入射した光子数は分別できないような検出器を用いても良い。たとえば、入射した光子数アバランシェフォトダイオードをガイガーモードで駆動した、例えばセイコー E G & G 製の S P C M (Single Photon Counting Module) - A Q を用いることが可能である。

光ファイバを伝播してきた光子は、ビームスプリッタ23から25を経る間に、光子検出器26から29に対してそれぞれ4分の1の確率で入射する。このため、例えば検出器の反応時間内に2光子が入射した場合も、 $3/4$ の確率で2つの検出器が応答し、2光子として区別することができる。

検出器26から29からの検出信号は、そのままパラレル信号として図3の分別部12に伝達されてもよいし、適当な形で圧縮してシリアル信号として伝達されてもよい。また、各検出器の後段に論理回路を組み込むことにより、光子数検出器と分別部12を一体化することも可能である。

また、ここでは一例として検出器を4つ並列に用いる場合を示したが、任意の個数の検出器を用いてもよい。一般に、 $N$ 個の検出器を並列で利用し、それらの検出器に等しい確率で光子が入射するようにビームスプリッターを設置した場合、2光子入射の検出確率は $(N-1)/N$ で与えられる。

また、この実施の形態ではビームスプリッター23から25には、50:50のビームスプリッターを用いたが、これは各検出器の量子効率などに応じて適当な分割率のビームスプリッターを用いてもよい。

また、光子を並列に設けられた複数の検出器で受光する方法としては、ここではビームスプリッターを用いて光路を複数に分割する方法を用いたが、例えば受光面を隣接して設置できるような場合には、レンズ等を用いて、それら複数の光子検出器によってそれぞれ均一な検出率で検出されるようにしてもよい。

#### 実施の形態 5

その他の実施の形態として、図1の波高分別部12において、光子数検出器からの検出信号が、光子が2つ入射した場合に相当する成分のみを切り出すこともできる。この場合、ゲートからは、検出器の反応時間内に光子が2つ含まれるような状態が射出されることになる。もちろん、光子数N個の場合を切り出すことは可能であるし、2つ以上の光子が含まれるような状態や、偶数個の光子数状態など任意の組みあわせを発生させることも同様にして可能である。

#### 実施の形態 6

その他の実施の形態として、図1におけるゲート装置4にシャッターを2つ備えたものを図7に示す。図7において、10はシグナル光子のゲート装置への到達時刻を遅延させるための光ファイバ、30、31は電気光学素子、32、33、34は偏光板、35はノットゲート、36は遅延器、13はコントロール装置である。このとき、偏光板33および34は、偏光板32を通過した光の偏光に対して最大の透



過率を持ち、それと直交する偏光をもつ光は透過しないように設定する。また、電気光学素子30と31は、与えられる制御信号の論理が1であれば偏光を90度回転し、0であれば偏光を回転しないものとする。

ゲート装置はできるだけ、光子が存在している間のみ開の状態を保ち、それ以外の間は閉であることが望ましい。しかし、電気光学素子単体では、そのゲート時間はその電気光学素子の繰り返し応答時間によって規定される時間以下には設定できなかった。この実施の形態は、シャッターを2つ備えることにより、シャッターの繰り返し応答時間より短時間でのゲート操作を実現した。

このゲート回路の動作を、図8を用いて説明する。図8において、横軸は時間をあらわす。一番上のグラフは、ゲート操作部に目標とする光子数の状態が到達している確率を、グラフAは、図7のA点での信号を、グラフBは同様に図7のB点での信号の状態を表す。Aはコントロール装置からの制御信号そのものと考えてよい。電気光学素子31は偏光回転子33、34との組み合わせにより論理0が入力されているときは光子を透過させ、また論理1が入力されているときは光子を遮蔽する。

電気光学素子30も、偏光子32、33との組合せにより同様に働く。

図8のグラフAの時刻T0における状態の様に、コントロール装置からの制御信号は常時は1に設定する。この場合、電気光学素子31によって、ゲート装置としては光子を透過させない。このとき、電気光学素子30には、ノットゲート35によって論理0が入力されており、光子を透過させる。

コントロール装置 13 は、偏光を光子がゲート操作部に到達すると予測される直前の時刻  $T_1$  に電気光学素子 31 が開になるように、出力の論理を 1 から 0 に変化させる。このとき、遅延器 36 の働きにより、電気光学素子 30 は論理 0 のままである。この時、光子はゲート装置を透過可能になっている。この状態は遅延機によって設定された時間の間継続する。その遅延の後、 $T_2$  において電気光学素子への論理が 1 にフリップし、電気光学素子 30 部分を光子は透過できなくなる。時刻  $T_3$  で、制御信号は再び 0 から 1 へと変化し、電気光学素子 31 は閉の状態に遷移し、 $T_4$  で初期状態に戻る。

以上のような構成により、個々の電気光学素子の応答時間より短い時間だけゲート装置を開くことが可能になり、必要な光子のみを選択的に射出することが可能になった。

#### 実施の形態 7

この発明のその他の実施の形態を図 9 に示す。図 9 において、37 はコントロール装置に供給するクロックを発生するクロック発生部である。この実施の形態の動作を、図 10 を用いて説明する。図 10 において、横軸は時間を表す。グラフ C は図 9 の点 C において観測したクロック信号、グラフ D は図 9 の D 点において観測した、光子数検出器 12 からの信号、グラフ E はコントロール装置 13 からのゲート制御信号、グラフ F はゲート装置 4 を経たのち、光ファイバ 11 において観測される光子の分布である。

グラフ D に見られるように、光子数検出器 2 からは、その時点での入射光子数に応じた波高をもつ信号が常に出力されている。波高分別部 12 は、一度に一つの光子の

入射に対応した波高を選択する。コントロール装置13では、クロック立ち上がり後最初に入力される波高分別部からの信号に対してのみ、ゲート装置4を開く（グラフE）。結果として、光ファイバ11からはグラフFに見られるようなほぼ一定の間隔で単一の光子が射出される。

この実施の形態においては、波高分別部12は光子が光子数検出器2の感度時間内に1つだけの状態を選別したが、もちろん2つまたはそれ以上の光子数に対応した状態を選別することも可能である。これにより、一定間隔に近い間隔において、多光子数状態を発生させることが可能になる。発生する光子対の数を増やせば、この間隔をさらに一定に近づけることが可能である。

#### 実施の形態 8

実施の形態7においては、一定時間間隔内に1度だけゲート装置を開いたが、一定時間間隔内にN回だけゲート装置を開くことも可能である。このようにすれば、一定時間内にN個ずつ光子を含むような状態を生成することができる。この場合も、発生する光子対の数を増やすことによって、N個の光子の組がある一定間隔で繰り返し発生しているような状態を生成することが可能になる。

以上のように本発明にかかわる光子数状態発生装置においては、発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、そのうち一方の光子を検出する光子数検出器、光子数検出器からの光子数の情報に応じてゲート装置をコントロールするコントロール装置を備えることにより、検出器の応答速度に関わらず、任意の光子数状態を発生することができる。

また、光子対を発生する光子対源として、ポンプ光光

源と、ポンプ光光源からのポンプ光が入射する非線型光学媒質を備えることにより、任意の光子数状態を効率よく発生することができる。

また、非線型光学素子を適切に調節することにより、さらに光子数状態を効率よく発生することができる。

また、非線型光学媒質として、導波路型の非線型光学媒質を備えることにより、光学的な調整が不要になり、取り扱いを容易にすることができる。

また、コントロール装置にクロック発生部および、そのクロックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみゲートを開閉する開閉回数判定部を備えることにより、一定時間間隔で光子数状態を発生することができる。

また、ゲート装置に、開閉時間より短い時間差で開閉する複数のシャッターを備えることにより、シャッター自体の繰り返し周波数よりも非常に短い時間でのゲートを実現できる。

#### 産業上の利用可能性

本発明の光子数状態発生装置は、発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、そのうち一方の光子を検出する光子数検出器、光子数検出器からの光子数の情報に応じてゲート装置をコントロールするコントロール装置を備えることにより、検出器の応答速度に関わらず、任意の光子数状態を発生することができ、発生時刻が既知である一定数の光子を発生する装置として有用である。

## 請求の範囲

1. シグナル光子とアイドラー光子からなる発生時刻に相関をもつ光子対を発生する光子対源、アイドラー光子の光子数を検出する光子数検出器、光子数検出器からの光子数の情報に応じてゲート装置をコントロールするコントロール装置、および、シグナル光子の射出を制御するゲート装置を備えることを特徴とする、光子数状態発生装置。
2. 光子対を発生する光子対源として、ポンプ光光源と、ポンプ光光源からのポンプ光が入射する非線型光学媒質を備えることを特徴とする、請求の範囲第1項記載の光子数状態発生装置。
3. ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の単一波長  $a$  に対応する直線に接するような角度に設定された非線型光学結晶を備えることを特徴とする、請求の範囲第2項記載の光子数状態発生装置。
4. ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、ポンプ光と、非線型光学媒質の光学軸のなす角度が、そのチューニングカーブがある特定の波長  $a$ 、 $b$  に対応する直線に接するような角度に設定された非線型光学結晶を備えることを特徴とする、請求の範囲第2項記載の光子数状態発生装置。
5. ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、導波路型の非線型光学媒質を備えることを特徴とする、請求の範囲第2項記載の光子数状態発生装置。

6. ポンプ光が入射する非線型光学媒質として、擬似位相整合型の非線型光学媒質を備えることを特徴とする、請求の範囲第2項記載の光子数状態発生装置。
7. 光子数検出器からの光子数の情報に応じてゲート装置をコントロールするコントロール装置に、光子数検出器からの光子数の情報が一定の範囲のものを分別する分別部を備えることを特徴とする、請求の範囲第1項記載の光子数状態発生装置。
8. 入射光子数に応じて出力パルスの高さの変化する信号を出力する光子数検出器を備え、コントロール装置に、光子数検出器からの出力パルスの高さがある一定範囲のものを分別する波高分別部を備えることを特徴とする、請求の範囲第1項記載の光子数状態発生装置。
9. 光子数検出器からの光子数の情報が、光子数検出器に入射した光子数が1つである場合を分別する分別部を備えることを特徴とする、請求の範囲第1項記載の光子数状態発生装置。
10. 光子数検出器からの出力パルスの高さが、光子数検出器に入射した光子数が1つである場合の高さに相当するものを分別する波高分別部を備えることを特徴とする、請求の範囲第1項記載の光子数状態発生装置。
11. コントロール装置にクロック発生部および、そのクロックによって規定される一定時間内に特定の回数を下回る回数のみゲートを開閉する開閉回数判定部を備えることを特徴とする、請求の範囲第7項記載の光子数状態発生装置。
12. コントロール装置にクロック発生部および、そのクロックによって規定される一定時間内に、最初の光子

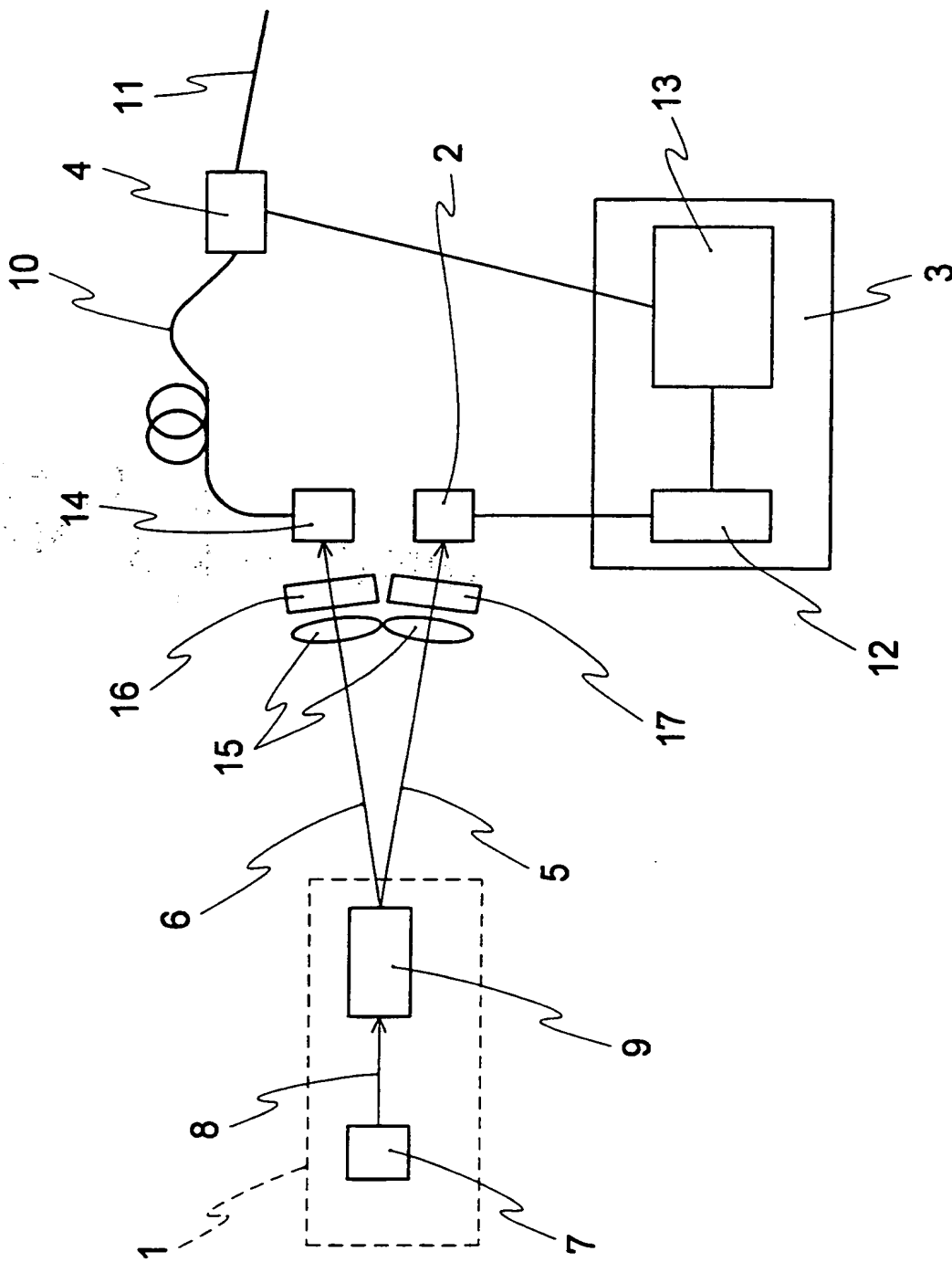
数検出器からの信号に対してのみゲートを開閉する開閉回数判定部を備えることを特徴とする請求の範囲第7項記載の光子数状態発生装置。

13. シグナル光子の射出を制御するゲート装置として、開閉時間より短い時間差で開閉する複数のシャッターを備えることを特徴とする、請求の範囲第1項記載の光子数状態発生装置。
14. 光子対から発生したアイドラー光子を、その光子の射出を制御するゲート装置に到達させる光ファイバーを備えることを特徴とする、請求の範囲第1項記載の光子数状態発生装置。

**THIS PAGE IS BLANK**

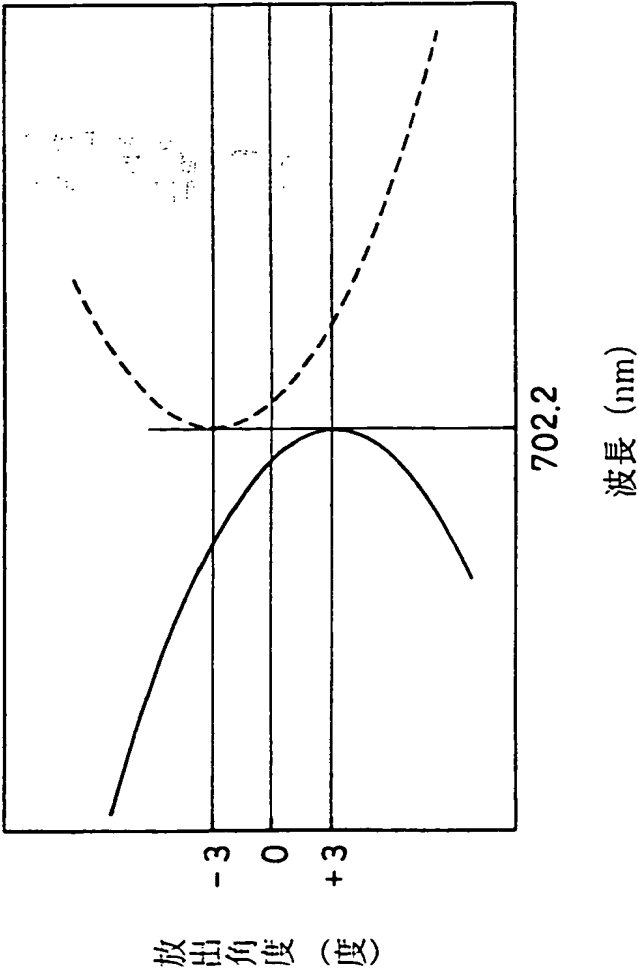


FIG. 1



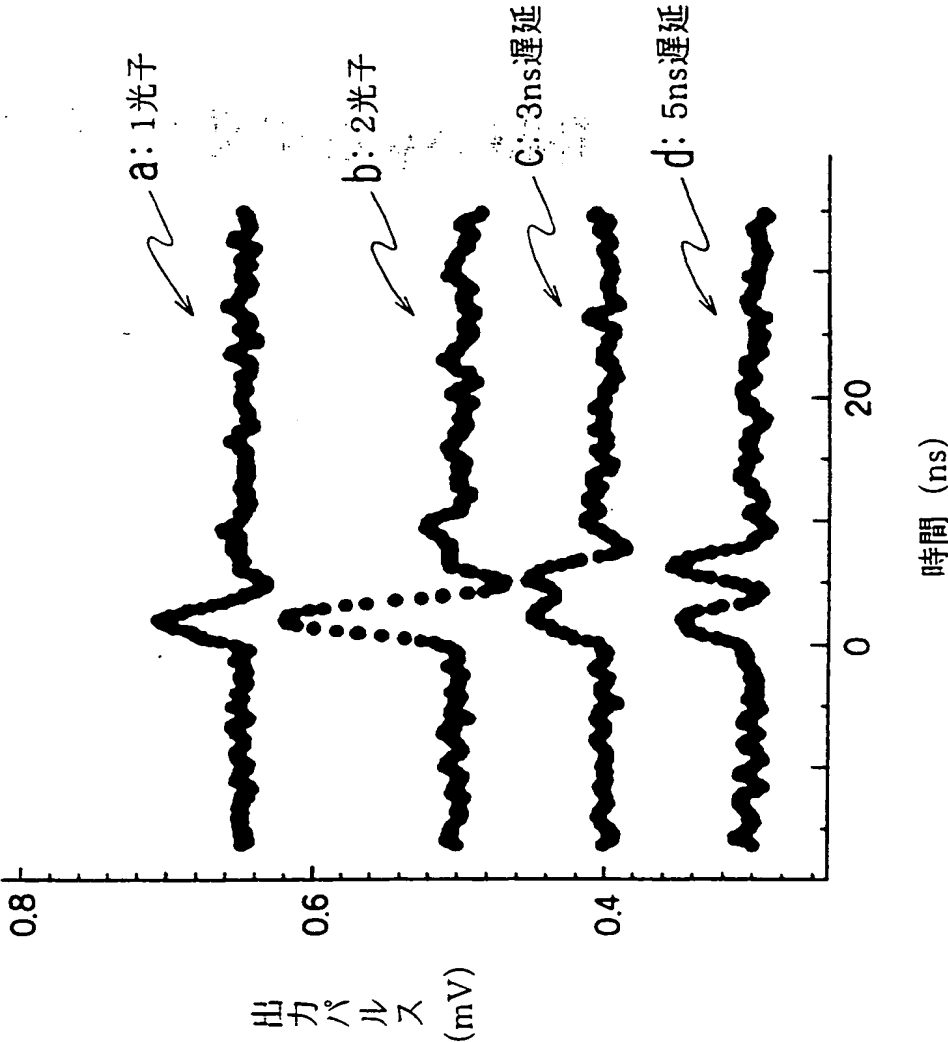
**THIS PAGE IS BLANK**

FIG. 2



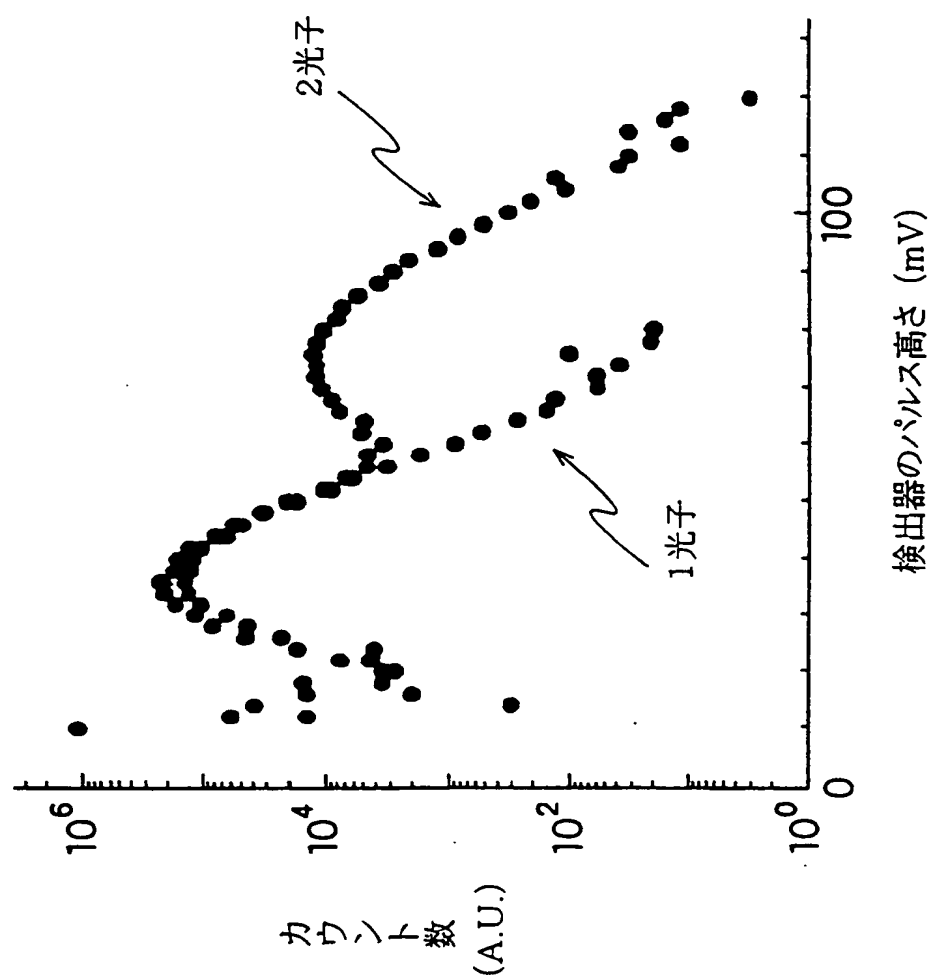
**THIS PAGE IS BLANK**

FIG. 3



**THIS PAGE IS BLANK**

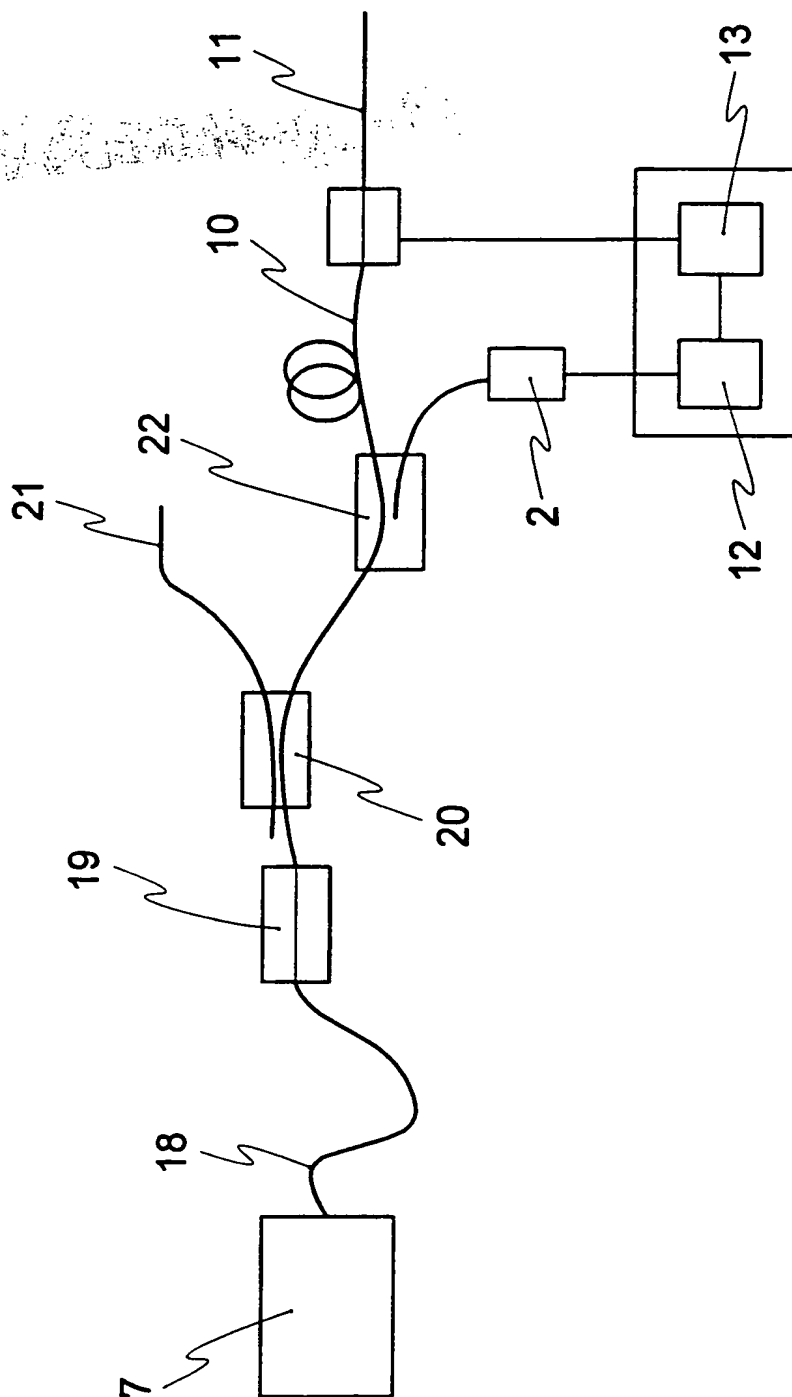
FIG. 4



**THIS PAGE IS BLANK**

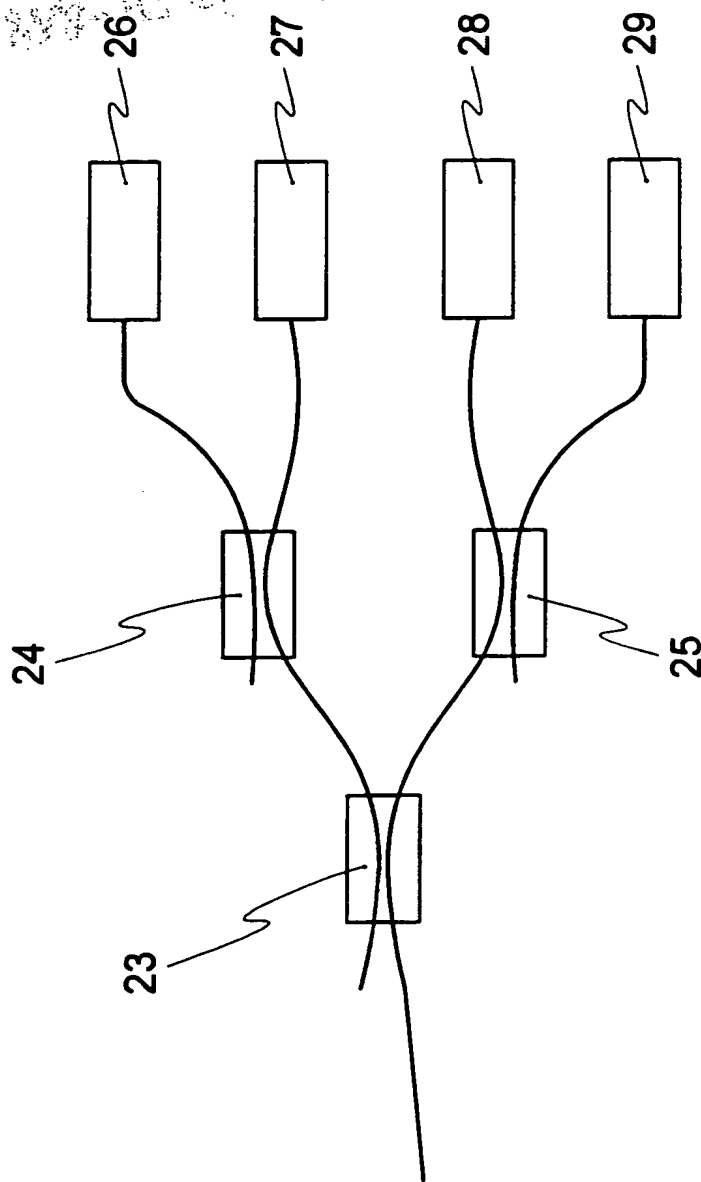


FIG. 5



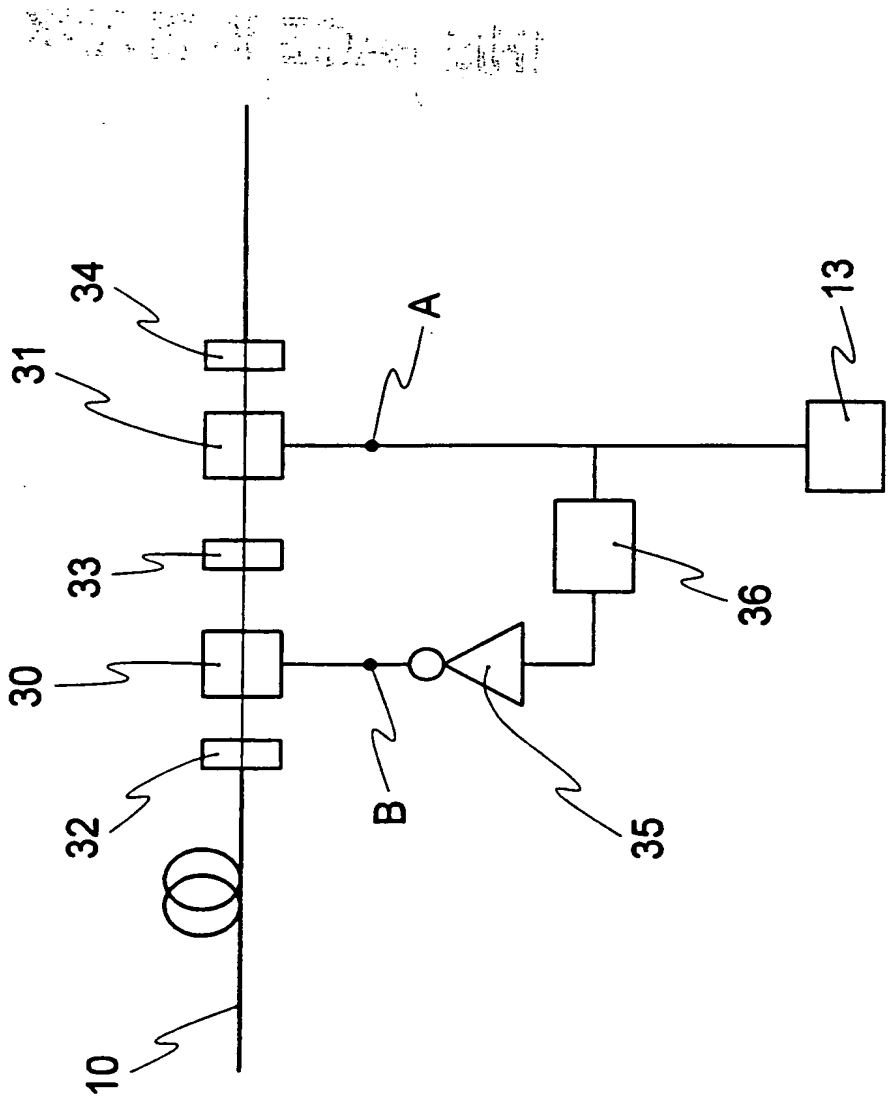
**THIS PAGE IS BLANK**

FIG. 6



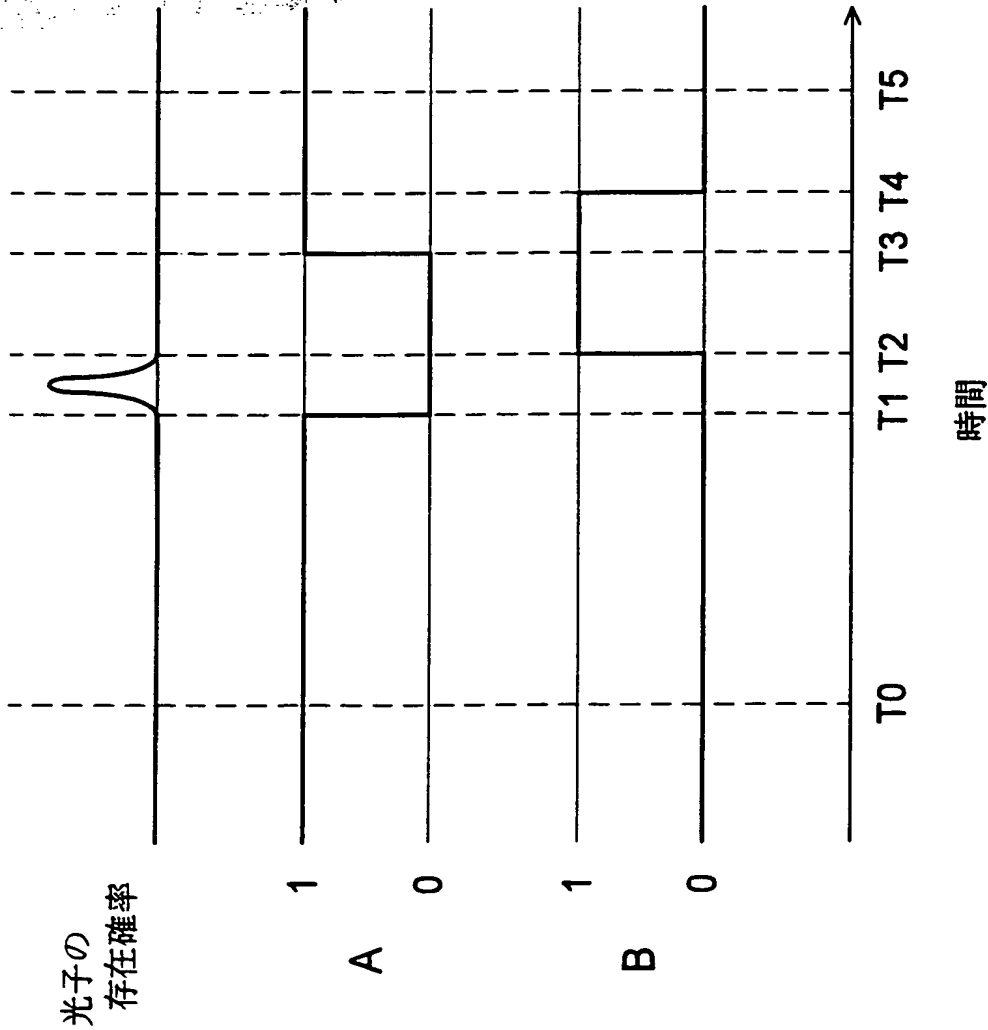
**THIS PAGE IS BLANK**

FIG. 7



**THIS PAGE IS BLANK**

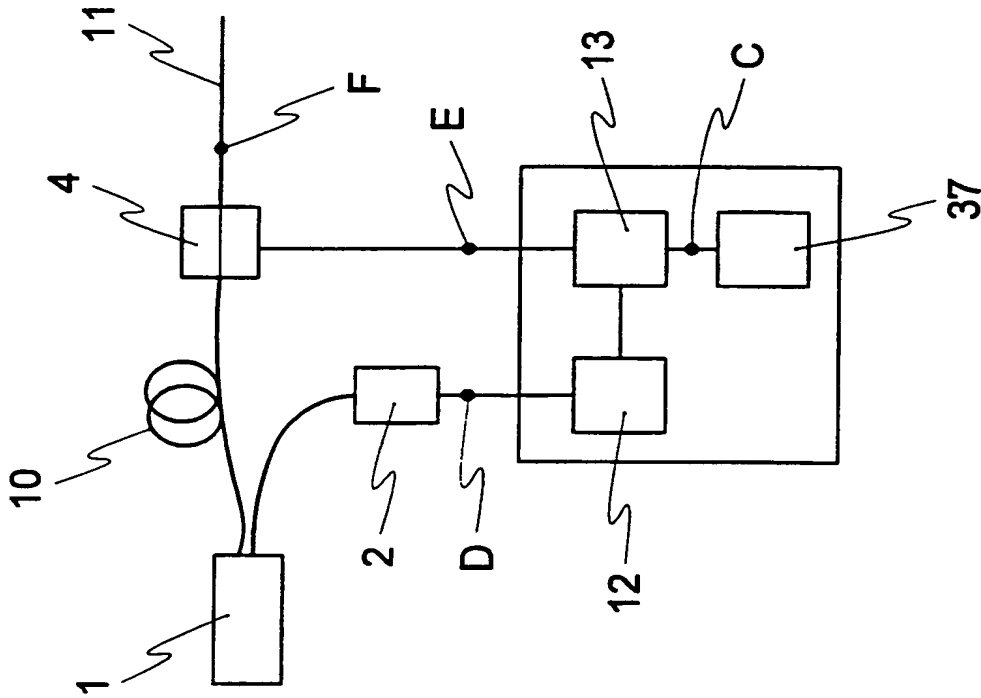
FIG. 8



THIS PAGE IS BLANK

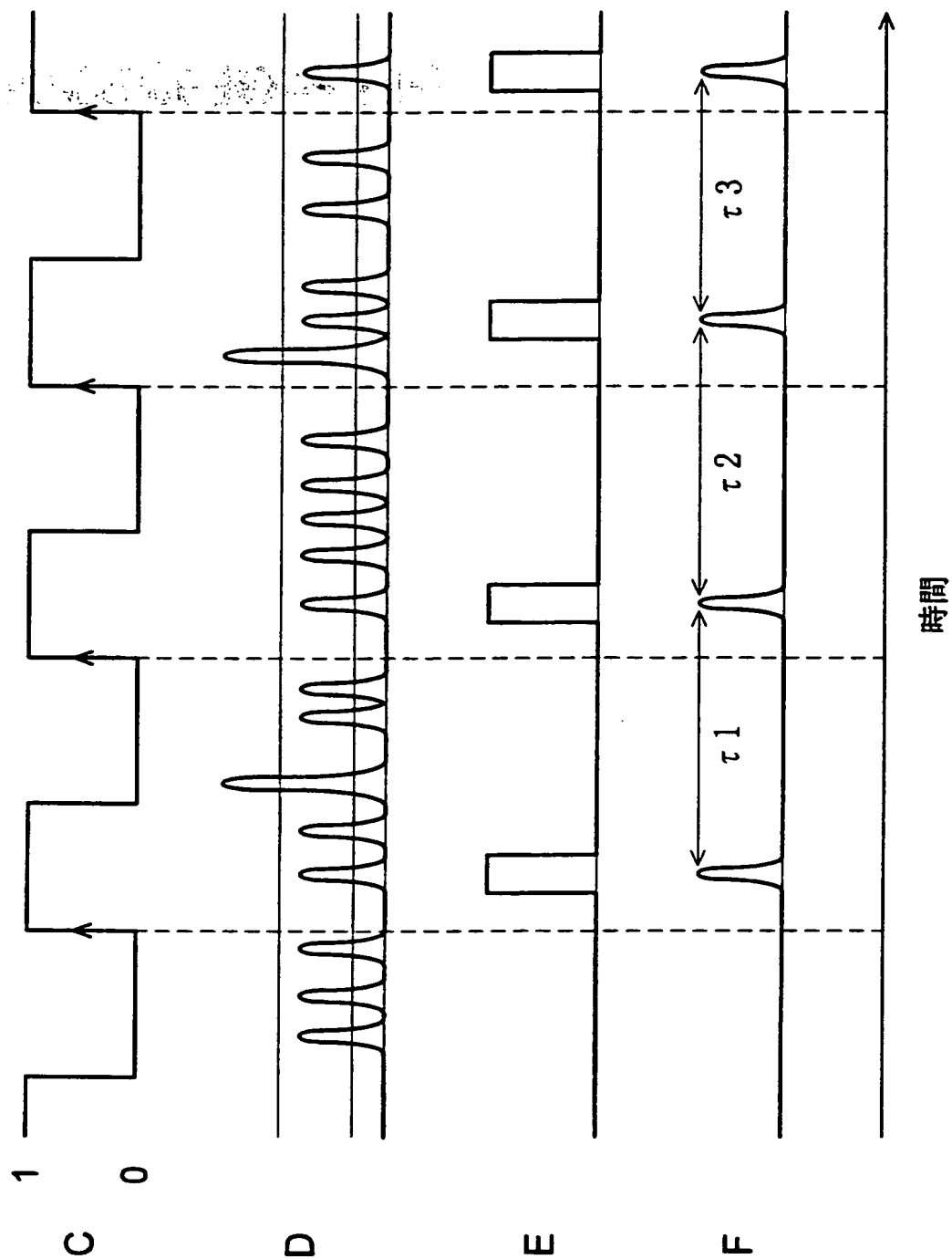


FIG. 9



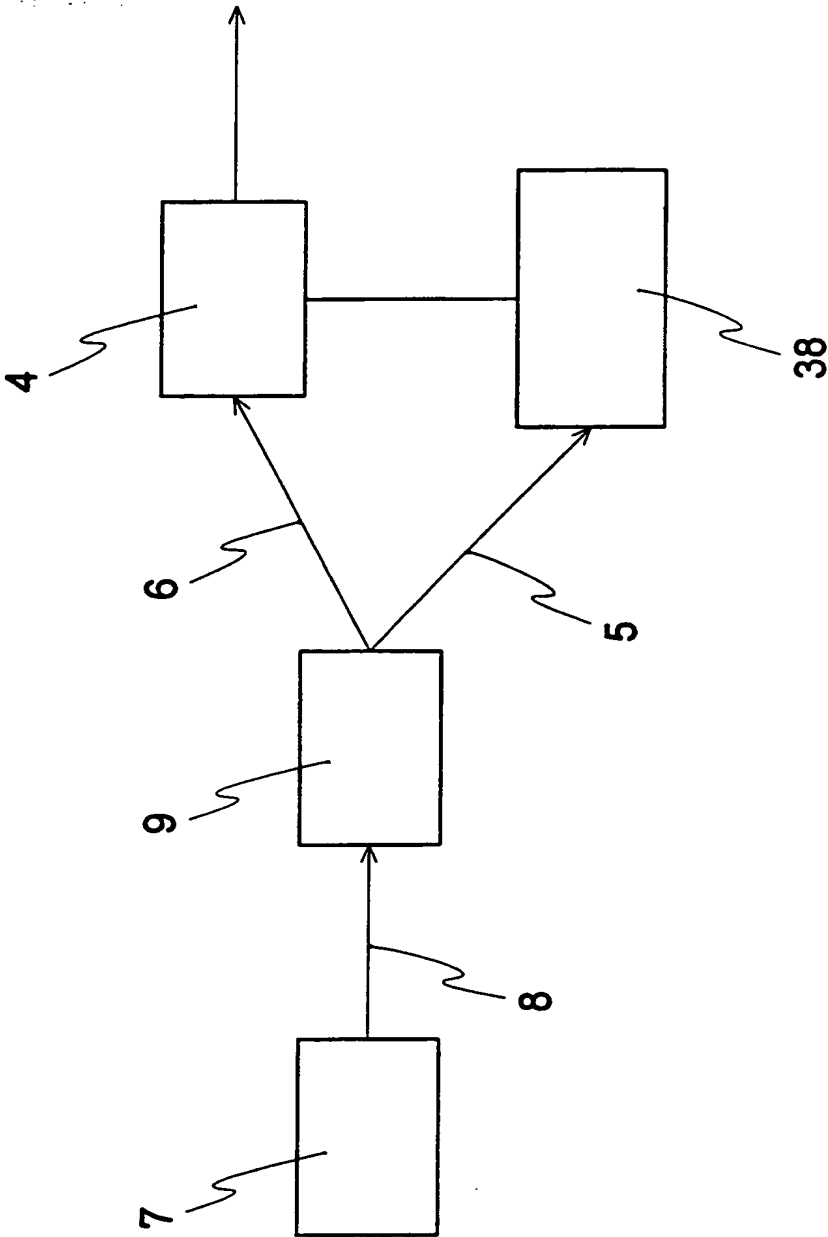
**THIS PAGE IS BLANK**

FIG. 10



THIS PAGE IS BLANK

FIG. 11



**THIS PAGE IS BLANK**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/06244

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> G02F 1/39, H04L9/38, H04L9/08, H04B10/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> G02F 1/39, H04L9/38, H04L9/08, H04B10/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2000  
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2000 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2000

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JICST  
WPI  
USPTO Web Patent Database

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US, 5675648, A (British Telecommunications public limited company), 07 October, 1997 (07.10.97), Column 5, lines 20 to 30; Fig. 5 & JP, 8-505019, A page 11; Fig. 5 & WO, 9415422, A & AU, 9457099, A & EP, 676110, A & DE, 69309496, E & ES, 2101495, T3 & DE, 69408152, E & CA, 2152628, C	1-14
Y	Appl.Phys.Lett., Vol.74, No.7 (15 February, 1999), Junsang.Kim, S.Takeuchi, Y.Yamamoto, Henry H.Hogue, "Multiphoton detection using visible light photon counter", pp.902-904	1-14
Y	Abstracts, Meeting of Nippon Butsuri Gakkai, Vol.53, No.2-2, 27a-YQ-9, Shigeki Takeuchi et al., "Kou Ryoshi Kouritsu Koshi Kenshutsuki", p.341	1-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search  
09 February, 2000 (09.02.00)

Date of mailing of the international search report  
29 February, 2000 (29.02.00)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP99/06244

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Abstracts, Meeting of Nippon Butsuri Gakkai, Vol. 53, No.1-2, 2p-YL-7, Shigeki Takeuchi, "Parametric Keiko Koshi Tai Beam no Hassei", p.292	3-4
Y	Appl.Opt., Vol.33, No.10 (1 April 1994), P.G.Kwiat, A.M.Steinberg, R.Y.Chiano, P.H.Eberhard, M.D.Petroff, "Absolute efficiency and time-response measurement of single-photon detectors", pp.1844-1853	1-14
Y	JP, 08-190112, A (Nippon Telegr. & Teleph. Corp. <NTT>), 23 July, 1996 (23.07.96), Full text; Figs. 1 to 11 (Family: none)	1-14
Y	Abstracts Meeting of Nippon Butsuri Gakkai, Vol. 53, No.2-2, 27a-YQ-10, Kaoru Sanaka et al., "Hikari Doharo gata Hi Senkei Soshi ni yoru 2 Koshi Sokan Gensho I", p.341	5



A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>1</sup> G02F 1/39, H04L9/38, H04L9/08, H04B10/00

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))  
Int. Cl<sup>1</sup> G02F 1/39, H04L9/38, H04L9/08, H04B10/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの  
 日本国実用新案公報 1922-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2000年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2000年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2000年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JICST

WPI

USPTO Web Patent Database

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	US, 5675648, A (British Telecommunications public limited company) 7. 10. 1997 (07. 10. 97), 第5欄第20-30行, 第5図 & JP, 8-505019, A, 第11頁, 第5図 & WO, 9415422, A & AU, 9457099, A & EP, 676110, A & DE, 69309496, E & ES, 2101495, T3 & DE, 69408152, E & CA, 2152628, C	1-14
Y	Appl. Phys. Lett., Vol. 74, No. 7 (15 FEBRUARY 1999), Junsang. Kim, S. Takeuchi, Y. Yamamoto, Henry H. Hogue, "Multiphoton detection using visible light photon counter", p. 902-904	1-14

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの  
 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日  
09. 02. 00

国際調査報告の発送日  
29. 02. 00

国際調査機関の名称及びあて先  
 日本国特許庁 (ISA/JP)  
 郵便番号 100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)  
佐藤 宙子



2X 9316

電話番号 03-3581-1101 内線 3293

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	日本物理学会講演概要集, 第53巻, 第2号, 第2分冊, 27a-YQ-9, 竹内繁樹, 山本喜久, "高量子効率光子検出器", p. 341	1-14
Y	日本物理学会講演概要集, 第53巻, 第1号, 第2分冊, 2p-YL-7, 竹内繁樹, "パラメトリック蛍光光子対ビームの発生", p. 292	3-4
Y	Appl. Opt., Vol. 33, No. 10 (1 April 1994), P. G. Kwiat, A. M. Steinberg, R. Y. Chiano, P. H. Eberhard, M. D. Petroff, "Absolute efficiency and time-response measurement of single-photon detectors", p. 1844-1853	1-14
Y	JP, 08-190112, A (日本電信電話株式会社), 23. 7月. 1996 (23. 07. 96) 全文, 第1-11図 (ファミリーなし)	1-14
Y	日本物理学会講演概要集, 第53巻, 第2号, 第2分冊, 27a-YQ-10, 佐中薫, 上妻幹男, 久我隆弘, "光導波路型非線形素子による二光子相関現象 I", p. 341	5